6.1 LA LOUPE

6.1.1 GÉNÉRALITÉS

Un objet est vu par l'œil avec **un maximum de détails** quand il est placé au **punctum proximum**, ce qui nécessite pour l'œil une **accommodation maximale**

Pour **supprimer** cette **accommodation** on **remplace la vision directe** de l'objet par une **vision indirecte**, celle de l'image obtenue par un système optique.

Cette **image** sera **virtuelle droite, plus grande que l'objet** pour réduire l'encombrement du système, loin de l'œil et si possible, l'image doit être située au punctum remotum pour éviter **l'accommodation,** son diamètre apparent devant être le plus grand possible.

6.1.2 Définition

La loupe est un **système optique** destiné à l'observation des **détails** d'objets non **accessibles** à l'œil nu.

On y parvient grâce à l'utilisation **de loupes** ou **oculaires** qui sont des **systèmes fortement convergents**, constitués par une **lentille** pour les **loupes** et par un **doublet** en général pour les oculaires.

Dans le cas le plus simple, on utilise une lentille **convergente** de focalité **très faible**, de l'ordre de quelques centimètres

6.1.3 Principe

$$AB + L_1 \rightarrow A'B' + L_2 \rightarrow A''B''$$

Le principe **consiste** à placer **l'objet** entre le **foyer objet** de la lentille **et son centre optique**, de manière a obtenir une image **droite très grande.**

Cette **image** sera considérée comme **objet** pour **l'œil** de l'observateur.

Pour une **bonne observation** cette image examinée **doit** se **trouver** dans le **champ de vision de l'observateur**.

$\overline{AB}$ Est l'objet par rapport à la loupe

$\overline{A'B'}$ Est l'image de l'objet donné par la loupe **(L_1)**. Elle sera considérée comme objet pour l'observateur **(L_2)**, elle doit se trouver dans son CV.

$\overline{A''B''}$ Est l'image finale de l'objet donné par la loupe et l'œil . Elle doit se trouver sur la tache jaune de l'observateur

6.1.4 Aspect géométrique.

$\overline{AB}$ est **l'objet**, il est réel et **doit** se trouver entre **O_1 et F_1 de la loupe.**

$\overline{A'B'}$: est **l'image** de l'objet donnée par la loupe, elle est **virtuelle, droite, plus grande** que l'objet, elle sera considérée comme objet pour l'œil.

6.1.5. Mise au point

Pour **l'œil**, les **images** des **objets** observés doivent se trouver dans le **champ de vision de l'observateur.**

Elles possèdent **deux positions limites**.

La mise au point **consiste** à déterminer les positions limites des **objets** qui donnent des positions limites des **images**, dans le **champ de vision de l'observateur.**

6.1.5.1 vision au PR.

La première image doit se **trouvée** sur **le PR** de **l'observateur**, celle-ci est **vue sans accommodation**.

Pour déterminer la **première** position de **l'objet** par rapport à la **loupe**, qui donne une première position de l'image **vue sans accommodation**, on doit **placer** cette image, donnée par la loupe, sur le **PR** de **l'observateur**, celle-ci sera vue **sans accommodation.**

$$A_1B_1 + L_1 \rightarrow A_1'B_1' + L_2 \rightarrow A_1''B_1'' \qquad \Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A}}$$

$\overline{O_1A_1}$ est la **première** position de **l'objet** qui donne une première position de l'**image** sur le **PR** de l'œil

$\overline{O_1A_1'} = \overline{O_1PR}$ Position de la **première** **image intermédiaire**, placée sur le **PR** naturel de l'œil. Cette image sera vue **sans accommodation**

$$\frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1PR}} - \frac{1}{\overline{O_1A_1}} = C_{loupe} \qquad \frac{1}{\overline{O_1A_1}} = \frac{1}{\overline{O_1PR}} - \frac{1}{\overline{O_1F'}}$$

Ne pas oublier que:

Le **PR** est définit par rapport à l'œil de l'observateur mais les **calculs sont fait par rapport à la loupe**.

$$\overline{O_1PR} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2PR}$$

6.1.5.2 vision au PP

La deuxième image doit se **trouvée** sur **le PP** de **l'observateur**, celle-ci est **vue avec accommodation maximale**.

Pour déterminer la **deuxième** position de **l'objet** par rapport à la loupe, qui donne une deuxième position d'image **vue avec accommodation maximale**, on doit **placer** cette image, donnée par la loupe, sur le **PP** de **l'observateur**, celle-ci sera vue **avec accommodation maximale.**

$$A_2B_2 + L_1 \rightarrow A_2'B_2' + L_2 \rightarrow A_2''B_2'' \qquad \Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A}}$$

$\overline{O_1A_2}$ est la **deuxième** position de **l'objet** donnant **une image** sur le **PP** de l'œil de l'observateur.

$\overline{O_1A_2'} = \overline{O_1PP}$: Position de la **deuxième** **image intermédiaire**, placée sur le **PP** naturel de l'œil de l'observateur. Cette image sera vue **avec accommodation maximale**.

$$\frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1PP}} - \frac{1}{\overline{O_1A_2}} = C_{loupe} \qquad \frac{1}{\overline{O_1A_2}} = \frac{1}{\overline{O_1PP}} - \frac{1}{\overline{O_1F'}}$$

Ne pas oublier que:

Le **PP** est définit par rapport à l'œil de l'observateur mais les **calculs sont fait par rapport à la loupe** $\overline{O_1PP} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2PP}$

6.1.5.3 Latitude de mise au point.

La latitude de mise au point est la distance précise sur laquelle on doit placer l'objet pour obtenir une image nette dans la zone d'accommodation de l'œil de l'observateur

On peut montrer que la latitude de mise au point peut être calculée par:

$$|L| = \overline{O_1A_1} - \overline{O_1A_2} \qquad |L| = (\overline{O_1F'})^2 \times \left[\frac{1}{\overline{O_1PP} - a} - \frac{1}{\overline{O_1PR} - a}\right]$$

6.1.5.4 Exemple d'un observateur normal

Calculer la **latitude de mise au point** pour un **observateur normal**, utilisant une **loupe de 5 cm** de distance focale. Il **place** son œil à **5 cm du foyer image de la loupe**.

a) vision au PR. $A_1B_1 + L_1 \rightarrow A_1'B_1' + L_2 \rightarrow A_1''B_1''$

$$\frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1PR}} - \frac{1}{\overline{O_1A_1}} \Rightarrow \frac{1}{5} = \frac{1}{\infty} - \frac{1}{\overline{O_1A_1}} \Rightarrow \quad \overline{O_1A_1} = -5cm$$

a) vision au PP. $A_2B_2 + L_1 \rightarrow A_2'B_2' + L_2 \rightarrow A_2''B_2''$

$$\frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1PP}} - \frac{1}{\overline{O_1A_2}}$$

$$\overline{O_1PP} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2PP} \Rightarrow \quad \overline{O_1PP} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2PP} = (+10) + (-25) = -15cm \qquad \frac{1}{5} = \frac{1}{-15} - \frac{1}{\overline{O_1A_2}} \Rightarrow \quad \overline{O_1A_2} = -3{,}75cm$$

On déduit que la latitude de mise au point est de $|L| = \overline{O_1A_1} - \overline{O_1A_2} = (-5) - (-3{,}75) = 1{,}25cm$

$$|L| = (5)^2 \times \left[\frac{1}{25-5} - \frac{1}{\infty}\right] = 1{,}25cm$$

6.1.6 Puissance et grossissement de la loupe.

6.1.6.1 Puissance.

a) Définition.

- On appelle puissance d'un système optique, **notée P**, le rapport de la tangente du diamètre apparent de l'image **α'** sur la **taille de l'objet (AB).**
- Quand l'angle **α'** est petit (faible incidence), on peut confondre tan (α′) avec α exprimé en radian.
- l'expression précédente donne la **PUISSANCE** en dioptries si la longueur **AB** est exprimée en **mètres.**

La puissance dépend de la distance focale de la loupe, de la position de l'œil ainsi que de position de l'image par rapport à l'œil de l'observateur.

$$P = \frac{\tan(\alpha')}{AB} \qquad \Rightarrow P = \frac{\alpha'}{AB}\frac{(rad)}{(m)} \qquad \Rightarrow P = \frac{1}{(OF')} \times \left(1 - \frac{a}{\overline{O_2A'}}\right)$$

b) Cas particuliers

Dans le cas particulier ou l'observateur place son œil sur le foyer principal image de la loupe, (**a = 0**); la puissance sera égale à :

$$\Rightarrow P = \frac{1}{(OF')} \times \left(1 - \frac{0}{\overline{O_2A'}}\right) \qquad \Rightarrow P = \frac{1}{(OF')} = C_{loupe}$$

- Et si l'observateur est normal et que la vision se fait sans accommodation, <u>l'image se trouve sur le PR = ∞</u>, $O_2A' = O_2PR = \infty$

$$\Rightarrow P = \frac{1}{(OF')} \times \left(1 - \frac{a}{\infty}\right)$$ $$\Rightarrow P = \frac{1}{(OF')} = C_{loupe}$$

Dans ces **deux cas particuliers** la puissance de la loupe est dite **Intrinsèque** ou **Nominale** elle est constante

$$\Rightarrow P = \frac{1}{(OF')} = C_{loupe}$$

6.1.6.2 Grossissement.

a) Définition.

- On appelle **<u>Grossissement</u>** d'un système optique, **notée <u>G</u>**, le rapport de la tangente du diamètre apparent de l'image **<u>α'</u>** sur la tangente du diamètre apparent de l'objet **<u>α</u> <u>placé sur le PP de l'œil</u>** de l'observateur sans système optique.
- Quand les angles (α' et α) sont faible, on peut les exprimer en radian.
- Le grossissement dépend de la puissance de la loupe et de la taille l'objet.

$$G = \frac{\tan(\alpha')}{\tan(\alpha)}$$ $$\Rightarrow G = \frac{\alpha' \ (rad)}{\alpha \ (rad)}$$ $$\Rightarrow G = \frac{\alpha'}{\overline{AB}} \times \frac{\overline{AB}}{\alpha} = P \times \overline{OPP}$$

b) Cas particuliers

- Dans le cas particulier ou la **<u>puissance de la loupe est intrinsèque</u>** est que **<u>l'observateur est emmétrope</u>**, on définit le **grossissement commercial**.

$$G = P \times \overline{OPP} = \frac{1}{OF'} \times \left(1 - \frac{a}{O_2A'}\right) \times \overline{OPP}$$

a=0

si : ou La puissance de la loupe est intrinsèque

$O_2A' = \infty$

Et si l'observateur est emmétrope son PP = 25cm.

$$G_{Com} = C_{loupe} \times 0{,}25 = \frac{C_{loupe}}{4}$$

6.1.7 Pouvoir séparateur.

a) Définition

Il représente la **taille** du **<u>plus petit objet</u>**, placé sur le **PP** de l'observateur, **<u>pouvant être vu nettement.</u>** On l'appelle aussi **<u>pouvoir de résolution.</u>**

Il définit aussi la **quantité minimale** de l'énergie emportée par la radiation incidente pouvant **excité** la cellule **réceptrice.**

$$\theta_{\min} \approx \frac{d}{L} = \frac{1{,}22\,\lambda}{a}$$

a: Le diamètre de la pupille

l: La longueur d'onde de la lumière

6.2 LE MICROSCOPE

6.2.1 GÉNÉRALITÉS

Le nom microscope vient du grec. ***Mikros*** signifie « **très petit** » et évoque la mesure du millimètre. ***Skope*** signifie « **observer** » évoque la vision. Le microscope est un instrument **destiné** à observer les détails d'un objet **ne pouvant pas être perçus par** l'œil muni d'une **loupe.**

6.2.2 Définition.

- **L'objectif**: la lentille qui se trouve du coté de l'objet est une lentille **très convergente**, son rôle est de fournir une image **réelle**, **plus grande et renversée**, de tout objet placé légèrement devant son foyer principal objet.

Dans le cas le plus simple, on utilise un système optique équivalent à deux **lentilles minces convergentes**.

- **L'oculaire,** est une deuxième lentille qui se trouve du coté de l'œil, **moins convergente** que l'objectif, elle joue le rôle de loupe pour l'image intermédiaire. Cette dernière fournie une image virtuelle, droite très grande devant l'objet.

La distance focale de l'objectif est de **quelques millimètres** celle de l'oculaire est de **quelques centimètres**

6.2.3 Principe. $\mathrm{AB} + \mathrm{L}_1 \rightarrow A_1^{'}B_1^{'} + L_2 \rightarrow A_2^{'}B_2^{'} + L_3 \rightarrow A_3^{'}B_3^{'}$

Le principe **consiste** à placer **l'objet** légèrement devant le **foyer objet** de l'objectif, de manière a obtenir une **image réelle, renversée très grande.**

Cette première **image** sera considérée comme **objet** pour **l'oculaire** du **microscope**, elle doit se trouver entre **le foyer objet de l'oculaire et son centre optique. L_2 joue le rôle de loupe pour l'image intermédiaire .**

L'oculaire donne de cette image intermédiaire une autre image virtuelle droite très grande devant l'objet, de sorte que cette dernière soit dans le **CV de l'observateur.**

Pour une bonne **observation** cette image finale donnée par le microscope sera examinée, elle **doit** se **trouver** dans le **champ de vision de l'observateur**.

6.2.4 Aspect géométrique

Le schéma à suivre est le suivant $\mathrm{A_1B_1} + \mathrm{L}_1 \rightarrow A_1^{'}B_1^{'} + L_2 \rightarrow A_2^{'}B_2^{'} + L_3 \rightarrow A_3^{'}B_3^{'}$

$$\Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1F_1^{'}}} = \frac{1}{\overline{O_1A_1^{'}}} - \frac{1}{\overline{O_1A_1}} \qquad \Rightarrow \frac{1}{\overline{O_2F_2^{'}}} = \frac{1}{\overline{O_2A_2^{'}}} - \frac{1}{\overline{O_2A_1^{'}}}$$

6.2.5. Mise au point

Pour l'œil, les <u>**images**</u> des <u>**objets**</u> observés doivent se trouver dans le **champ de vision de l'observateur**.

Elles possèdent <u>**deux positions limites**</u>.

La mise au point **consiste** à déterminer les <u>positions limites des **objets**</u> qui donnent des <u>positions limites des **images**</u>, dans le cham

$$A_1B_1 + L_1 \rightarrow A_1^{'}B_1^{'} + L_2 \rightarrow A_2^{'}B_2^{'} + L_3 \rightarrow A_3^{'}B_3^{'}$$

$$\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1F_1^{'}}} = \frac{1}{\overline{O_1A_1^{'}}} - \frac{1}{\overline{O_1A_1}}$$

$$avec : \overline{O_1A_1^{'}} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2A_1^{'}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\overline{O_2F_2^{'}}} = \frac{1}{\overline{O_2A_2^{'}}} - \frac{1}{\overline{O_2A_1^{'}}}$$

$$et : \overline{O_2A_2^{'}} = \overline{O_2O_3} + \overline{O_3A_2^{'}}$$

6.2.5.1 vision au PR.

La première image doit se **trouvée** sur **le PR** de **l'observateur**, celle-ci est <u>**vue sans accommodation**</u>. $avec : \overline{O_3A_2^{'}} = \overline{O_3PR}$

6.2.5.2 vision au PP.

La deuxième image doit se **trouvée** sur **le PP** de **l'observateur**, celle-ci est <u>**vue avec accommodation maximale**</u>.

$$avec : \overline{O_3A_2^{'}} = \overline{O_3PP}$$

6.2.5.3 Latitude de mise au point

<u>**La latitude de mise au point**</u> est la **distance précise** sur laquelle on doit placer **l'objet** pour obtenir une **image nette** dans la zone <u>d'accommodation de l'œil de l'observateur</u>.

$$|L| = \overline{O_1A_1} - \overline{O_1A_2}$$

Avec O_1A_1: première position de l'objet qui donne une image sur le PR de l'observateur.

et O_1A_2: deuxième position de l'objet qui donne une image sur le PP de l'observateur.

6.2.6 Puissance et grossissement du microscope

6.2.6.1 Puissance.

a) Définition.

- Elle est définie de la même manière que dans le cas de la loupe par le rapport du <u>**diamètre apparent de l'image**</u> donnée par le microscope sur la <u>**taille de l'objet**</u>:

$$P_{micro} = \frac{\alpha_2^{'}}{AB} \frac{(rad)}{(m)}$$

- l'expression précédente donne la puissance en dioptries si la longueur AB est exprimée en mètres.

- La puissance du microscope, dépend du coefficient de grandissement de l'objectif et de la puissance de l'oculaire.

$$P_{micro} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \times \frac{\alpha_2'}{\overline{A'B'}} = \gamma_{obj} \times P_{ocul}$$

$$avec : \gamma_{obj} = \frac{A_1'B_1'}{A_1B_1}$$

$$et : P_{ocul} = \frac{1}{(O_2F_2')} \times \left(1 - \frac{a}{\overline{O_3A_3'}}\right)$$

b) Cas particuliers

- Dans le cas particulier ou la vision se fait á l'infini, on définit la puissance **intrinsèque ou nominale** du microscope. la **puissance sera donnée par :** $P_{mic}^{int} = C_1 \times C_2 \times \Delta$

$$C_1 = \frac{1}{\overline{(O_1F_1')}} : et, C_2 = \frac{1}{\overline{(O_2F_2')}}$$

Δ: est l'intervalle optique du microscope $et : \Delta = \overline{F_1'F_2}$

6.2.6.2 Grossissement.

a) Définition.

- On définit le **Grossissement** d'un microscope, **notée G**, de la même manière que dans le cas de la loupe.
- Quand les angles (α_2' et α_1) sont faible, on peut les exprimer en radian.
- Le grossissement dépend de la puissance de la loupe et de la taille l'objet.

$$G_{micro} = \frac{\alpha_2' \,(rad)}{\alpha_1 \,(rad)}$$

$$\Rightarrow G_{micro} = P_{micro} \times \overline{O_3PP}$$

b) Cas particuliers

Dans le cas particulier ou la **puissance du microscope est intrinsèque** est que **l'observateur est emmétrope**, on définit le **grossissement commercial**.

$$G_{comer} = P_{mic}^{int} \times \overline{O_3PP} = \frac{C_1 \times C_2 \times \Delta}{4}$$